



**Barcelona
Supercomputing
Center**
Centro Nacional de Supercomputación



EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA

Modelización matemática de la información climática para una transición justa y eficiente: del byte a la COP

Francisco Doblas-Reyes



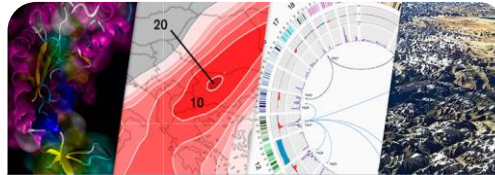
ICREA

Barcelona Supercomputing Center Centro Nacional de Supercomputación

BSC-CNS objetivos



Supercomputación para investigadores europeos y españoles



R&D en ciencias de la computación, la vida, la Tierra e ingeniería



Programa doctoral, de transferencia de tecnología y de compromiso público

BSC-CNS es un consocio que incluye

Gobierno español

60%



Gobierno catalán

30%



Univ. Politècnica de Catalunya (UPC)

10%



MareNostrum 4

Rendimiento total pico:

13,7 Pflops/s



40%



Acceso: prace-ri.eu/hpc_acces

40%



RED ESPAÑOLA DE
SUPERCOMPUTACIÓN

Acceso: bsc.es/res-intranet

20%



Barcelona
Supercomputing
Center
Centro Nacional de Supercomputación

Misión de los departamentos del BSC



Ciencias de la Computación

Influir en la manera en la que se construyen las máquinas, se programan y se usan: modelos de programación, herramientas para el rendimiento, eficiencia energética, Big Data



Ciencias de la Tierra

Desarrollar e implementar modelos globales y regionales para la modelización y predicción de la calidad del aire y el clima



Ciencias de la Vida

Comprender los organismos vivos a través de métodos de cálculo y teóricos: modelización molecular, genómica, proteómica

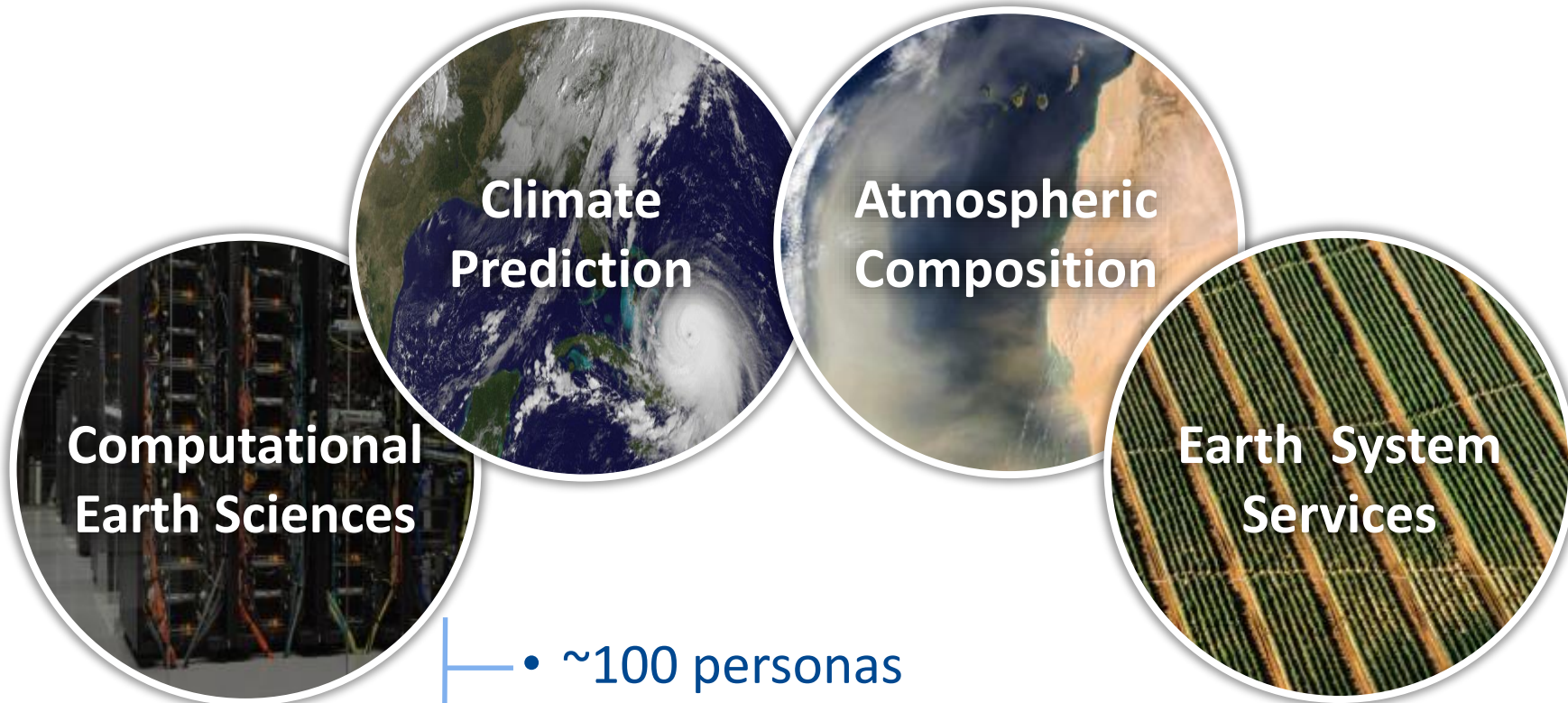


CASE

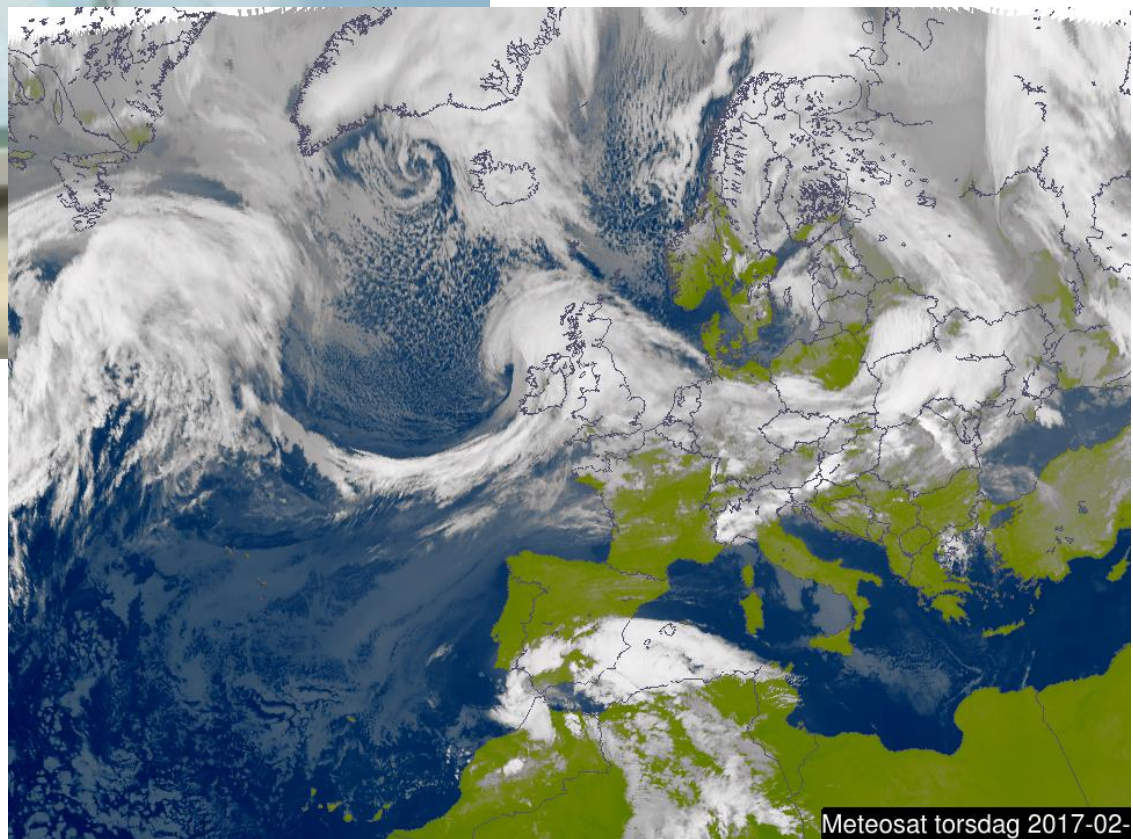
Desarrollar software científico para explotar eficientemente las capacidades de la supercomputación en ingeniería: geofísica, energía, aspectos sociales y económicos

Departamento de Ciencias de la Tierra

Modelización y predicción medioambiental usando modelos basados en procesos y en inteligencia artificial, con un interés particular en la **meteorología, el clima y la calidad del aire**. Incluye una componente de **transferencia de soluciones** para apoyar los retos actuales.



- ~100 personas
- Financiación de la UE, Copernicus, sector privado, ESA, gobiernos regional y español



**Barcelona
Supercomputing
Center**
Centro Nacional de Supercomputación

Meteosat torsdag 2017-02-23

Diferencia entre tiempo y clima

Clima: estado del sistema climático en una zona concreta; se caracteriza por el estado promedio

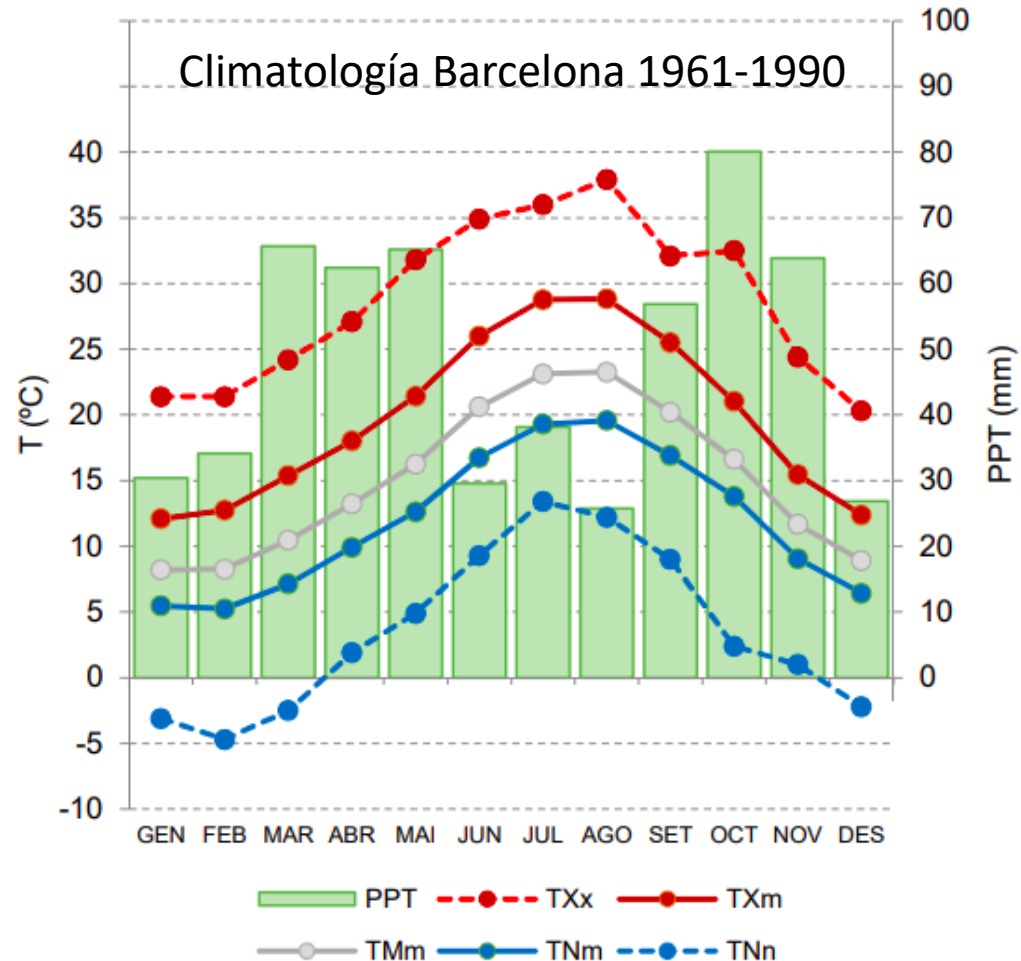


Clima mediterráneo

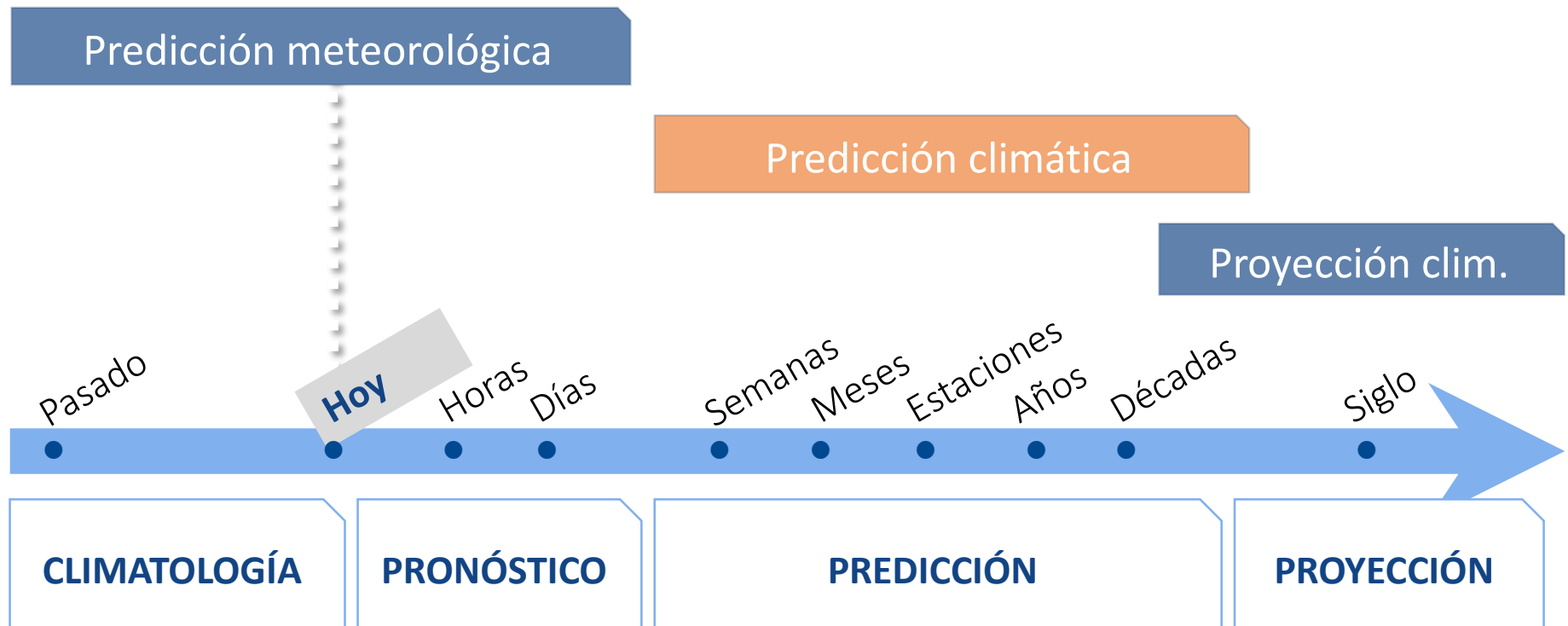
Inviernos (templados y lluviosos)

Veranos (secos y calurosos)

Primavera/otoño (variables)

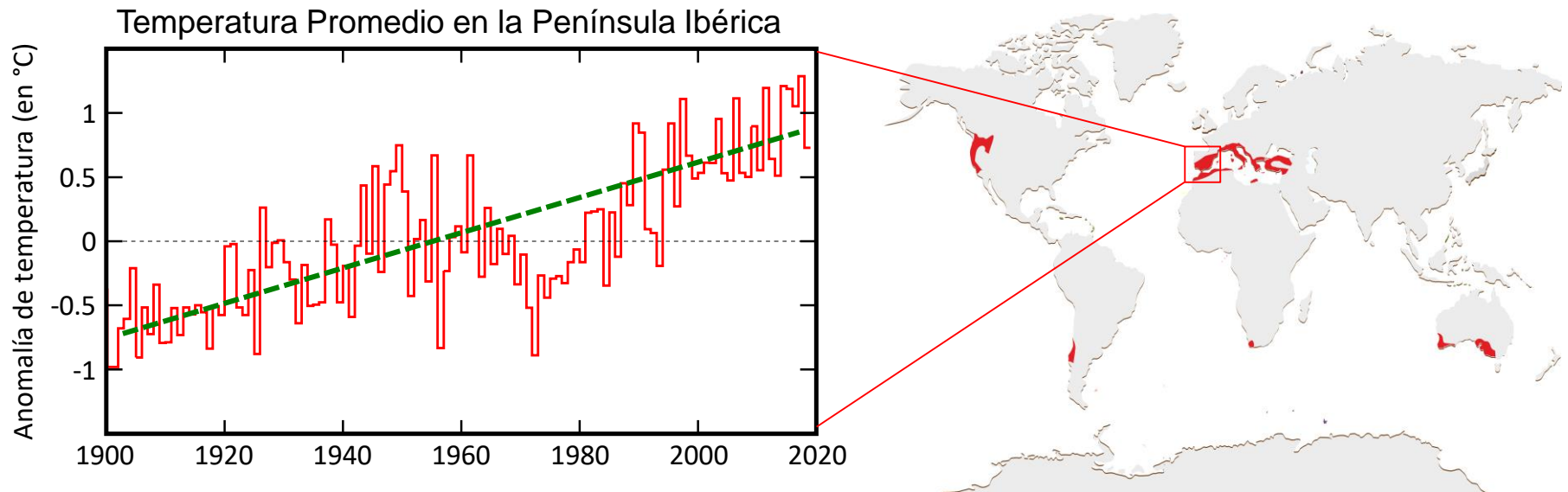


Escalas temporales en meteorología y clima

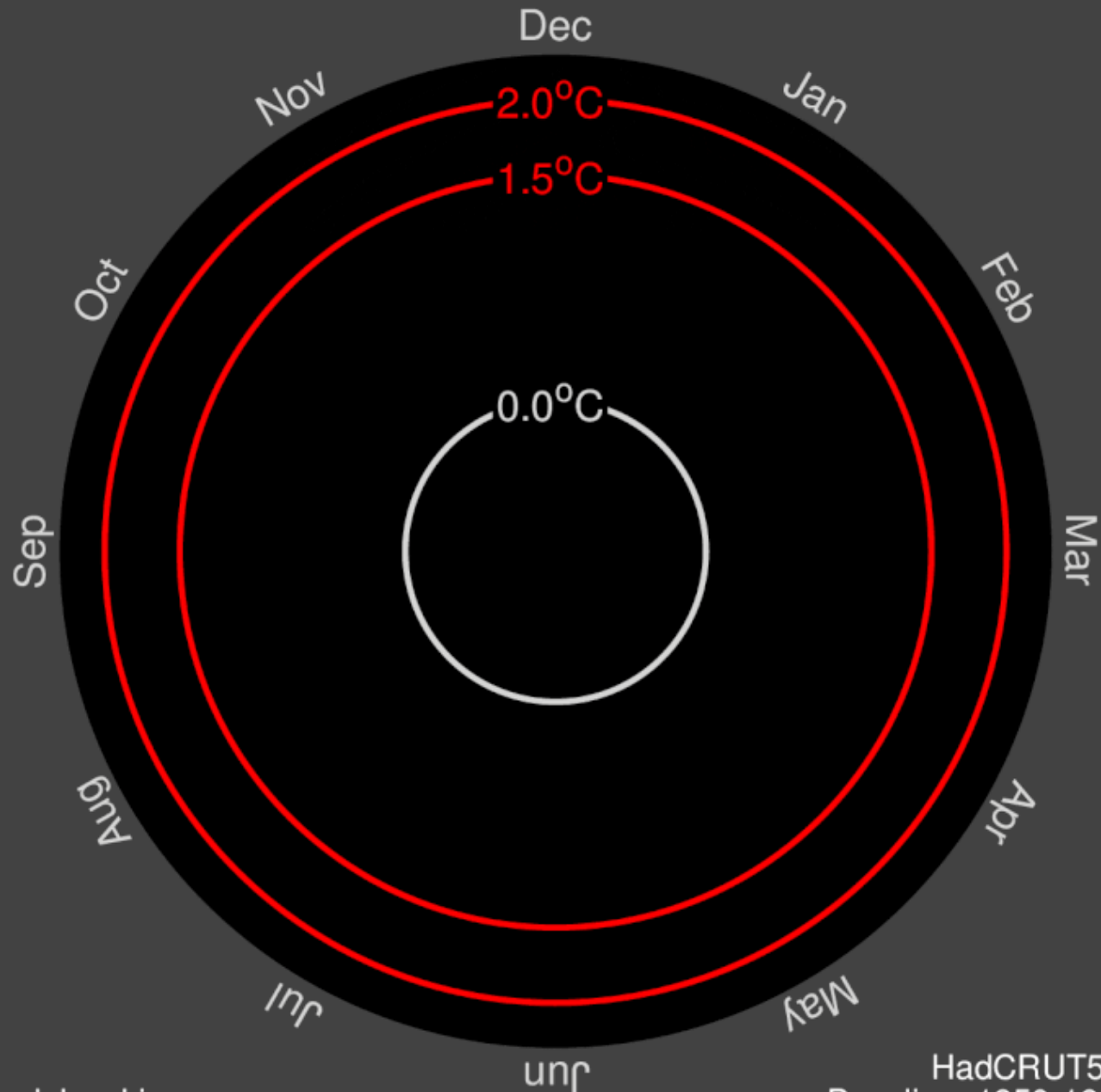


Estabilidad del clima

No todos los periodos del siglo XX tuvieron el mismo estado climático.



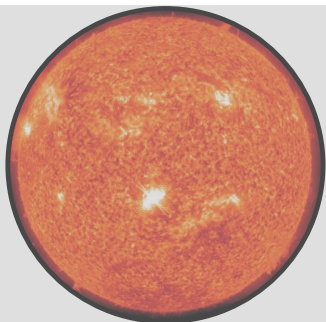
Global temperature change (1850-2020)



Causas de las variaciones

No todos los periodos del siglo XX tuvieron el mismo estado climático.

I) Factores externos al sistema climático



Actividad Solar



Aerosoles volcánicos

Factores Naturales



Gases Efecto
Invernadero



Usos de suelo

Factores Antrópicos (entre muchos otros)

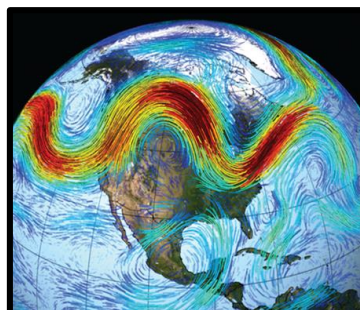
I) Factores internos del sistema climático

Procesos de variabilidad interna (asociados a la memoria del sistema climático)

Océano



Atmósfera

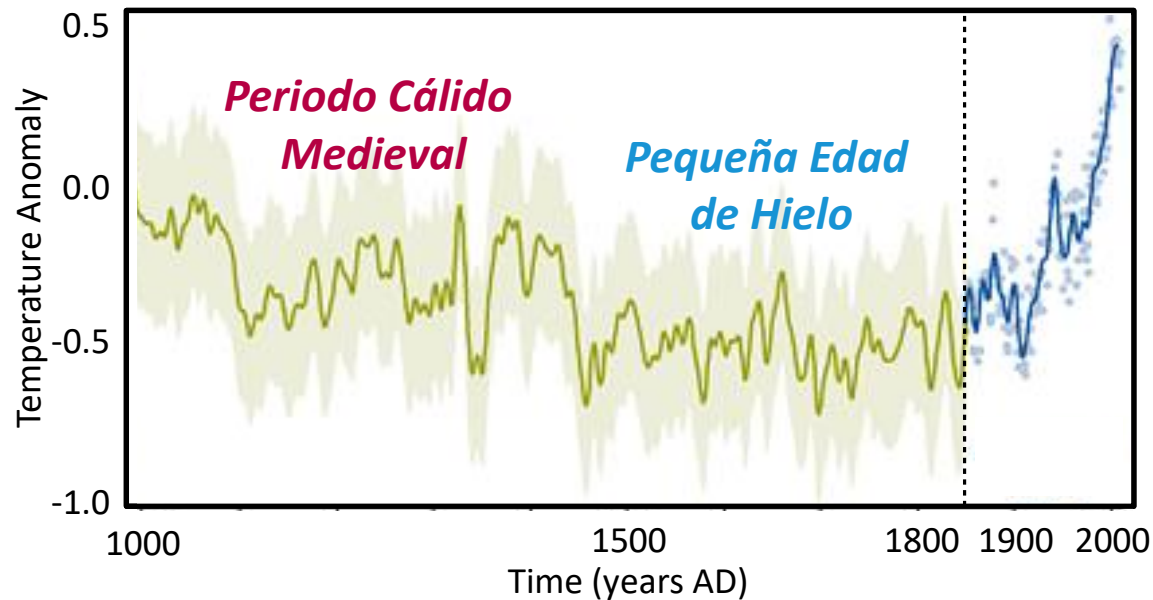


Criosfera



El clima del pasado

La evolución del clima pasado se explica por factores naturales y variabilidad interna (temperatura del Hemisferio Norte en los últimos 1000 años).



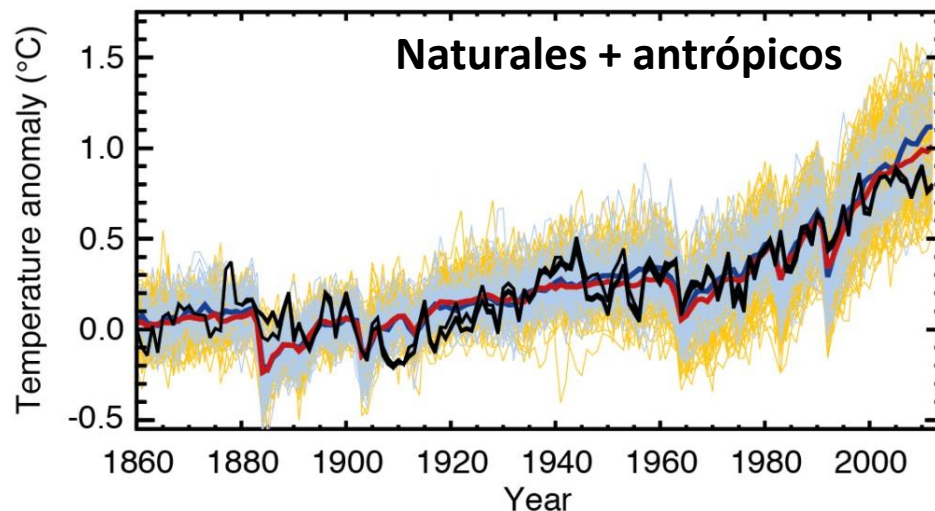
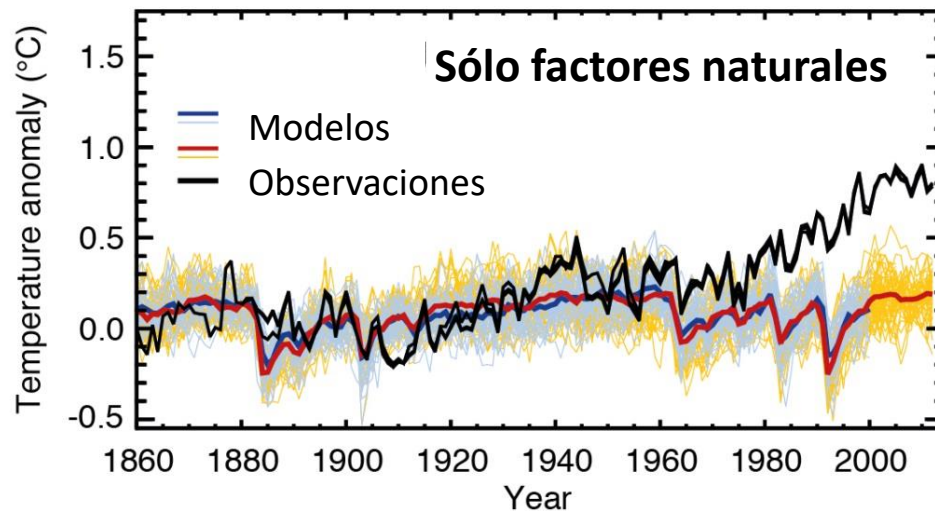
Feria sobre el Támesis helado
(Thomas Wyte, 1683-1684)



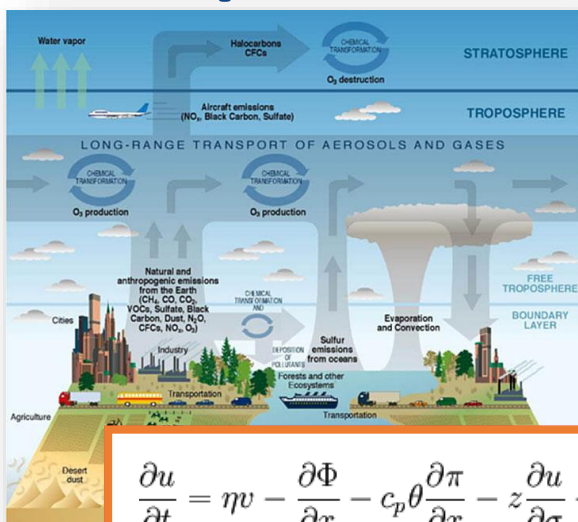
Los cazadores en la nieve
(Bruegel el Viejo, 1595)

Experimentos para entender las causas

El cambio global se debe a factores antrópicos



Experimentos para entender las causas



$$\frac{\partial u}{\partial t} = \eta v - \frac{\partial \Phi}{\partial x} - c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial x} - z \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{\partial \left(\frac{u^2 + v^2}{2} \right)}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\eta \frac{u}{v} - \frac{\partial \Phi}{\partial y} - c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial y} - z \frac{\partial v}{\partial \sigma} - \frac{\partial \left(\frac{u^2 + v^2}{2} \right)}{\partial y}$$

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{\partial T}{\partial t} + \dots$$

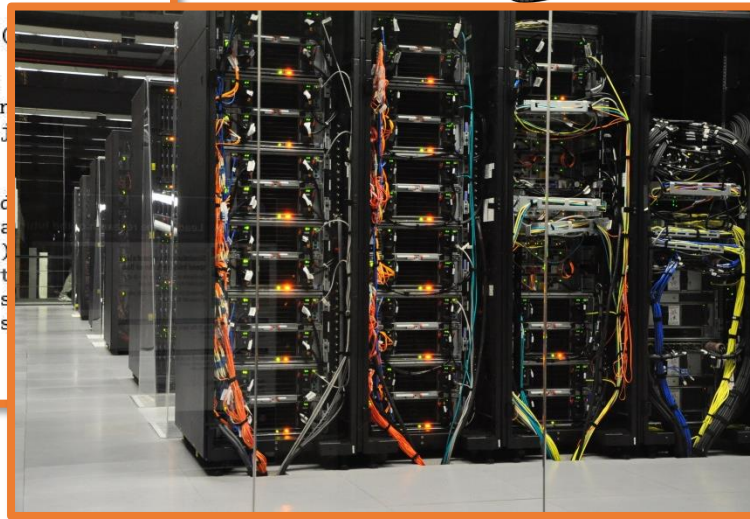
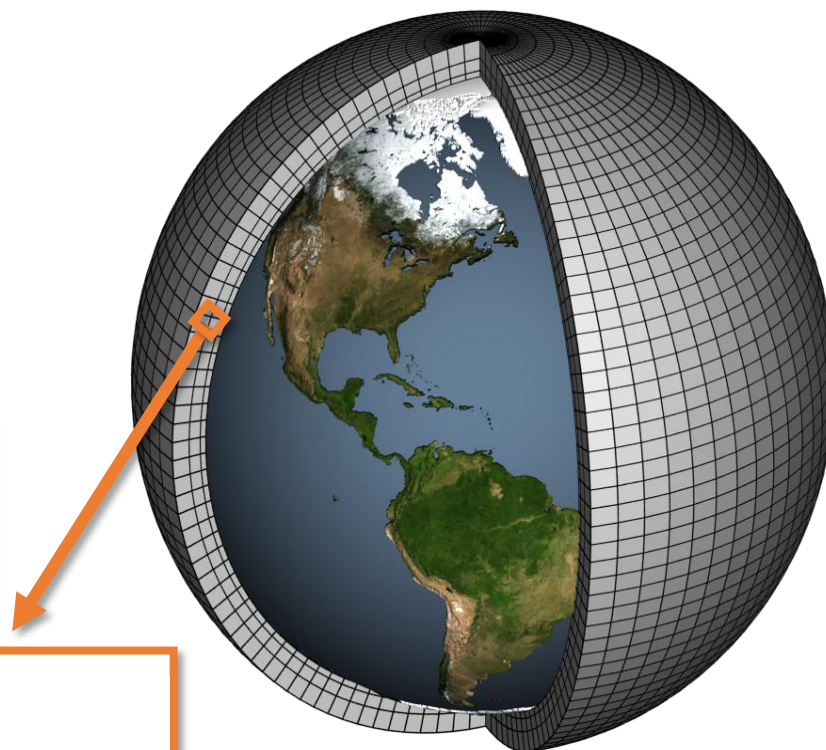
$$\frac{\delta W}{\delta t} = u \frac{\partial V}{\partial x} + \dots$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial \sigma} = u \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial p}{\partial \sigma} \right) + \dots$$

```

if (diagts .and. eots) then
  do 1500 m=1,nt
    do 1490 k=1,km
      fx = cst(j)*dyt(j)*dzt(k)/(c2dtts*dtxccl)
      do 1480 i=2,intml
        boxfx = fx*dxt(i)*fm(i,k,jc)
        sddt  = (ta(i,k,m)-t(i,k,jc,m))/dt
        svar  = (ta(i,k,m)**2-t(i,k,jc,m)**2)/dt
        n     = 0
        termbt(k,1,m,n) = termbt(k,1,m,n) + sddt
        tvar(k,m,n)      = tvar(k,m,n) + svar
        n = nhreg*(mskvr(k)-1) + mskhr(i,j)
        if (n .gt. 0 .and. mskhr(i,j) .gt. 0) then
          termbt(k,1,m,n) = termbt(k,1,m,n) + sddt
          tvar(k,m,n)      = tvar(k,m,n) + svar
        end if
      end do
    end do
  end do

```



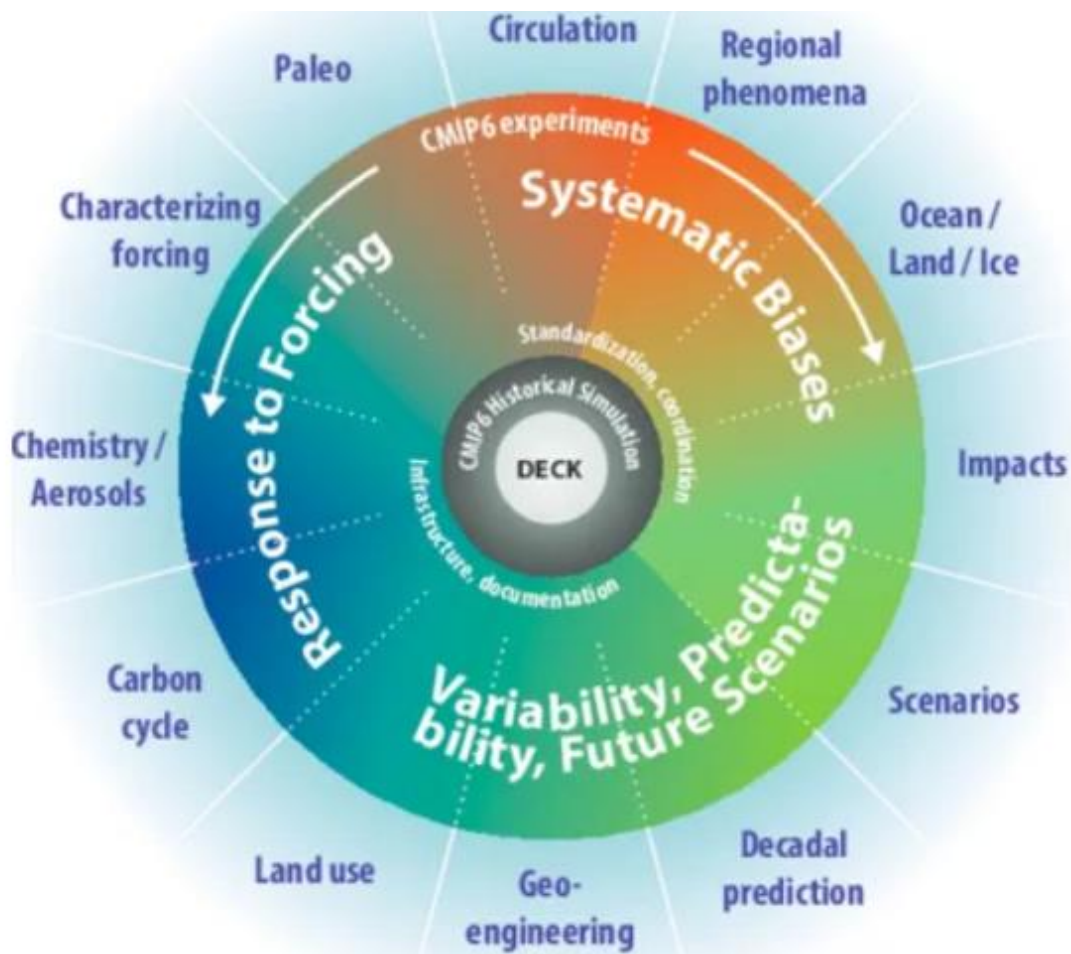
Modelización del clima global

- BSC desarrolla un **modelo global del sistema climático terrestre** con una configuración de alta resolución (10 km).
- El objetivo que se persigue es entender y **predecir la evolución del clima global** en escalas temporales que van desde un mes a más de 100 años
- ... y, además, obtener estimaciones de los **flujos de carbono** para informar la implementación de, entre otros, el Acuerdo de París y el Pacto Verde europeo



Experimentos internacionales, CMIP

Diseño de la fase 6 del experimento internacional Coupled Model Intercomparison Project.



DECK (entry card for CMIP6)

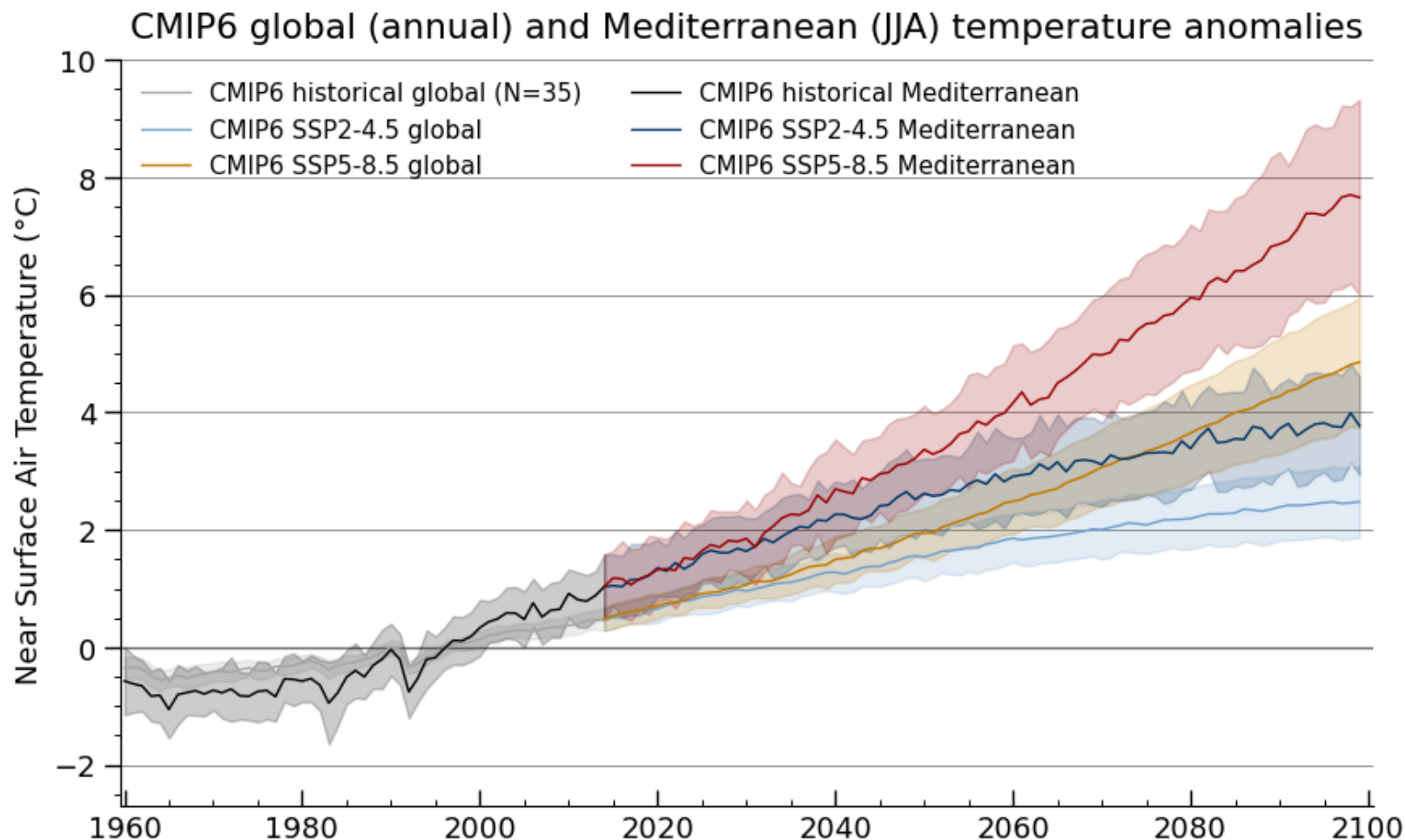
- AMIP simulation (~1979-2014)
- Pre-industrial control simulation
- 1%/yr CO₂ increase
- Abrupt 4xCO₂ run

CMIP6 Historical Simulation (entry card for CMIP6)

- Historical simulation using CMIP6 forcings (1850-2014)

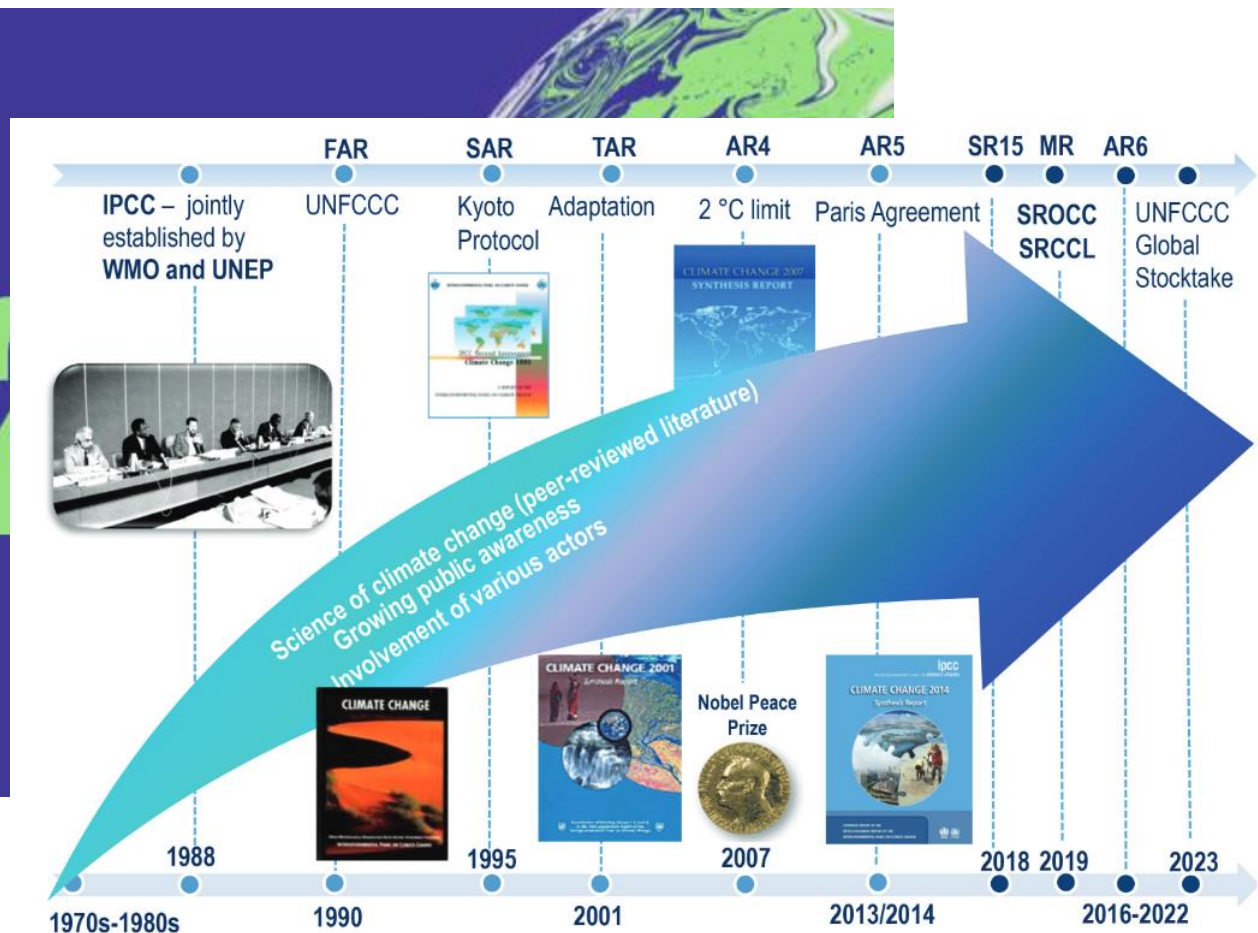
Nuestro entorno: el Mediterráneo

Temperatura del aire en superficie promediada sobre el Mediterráneo (solo sobre tierra) en el periodo histórico y en el futuro.



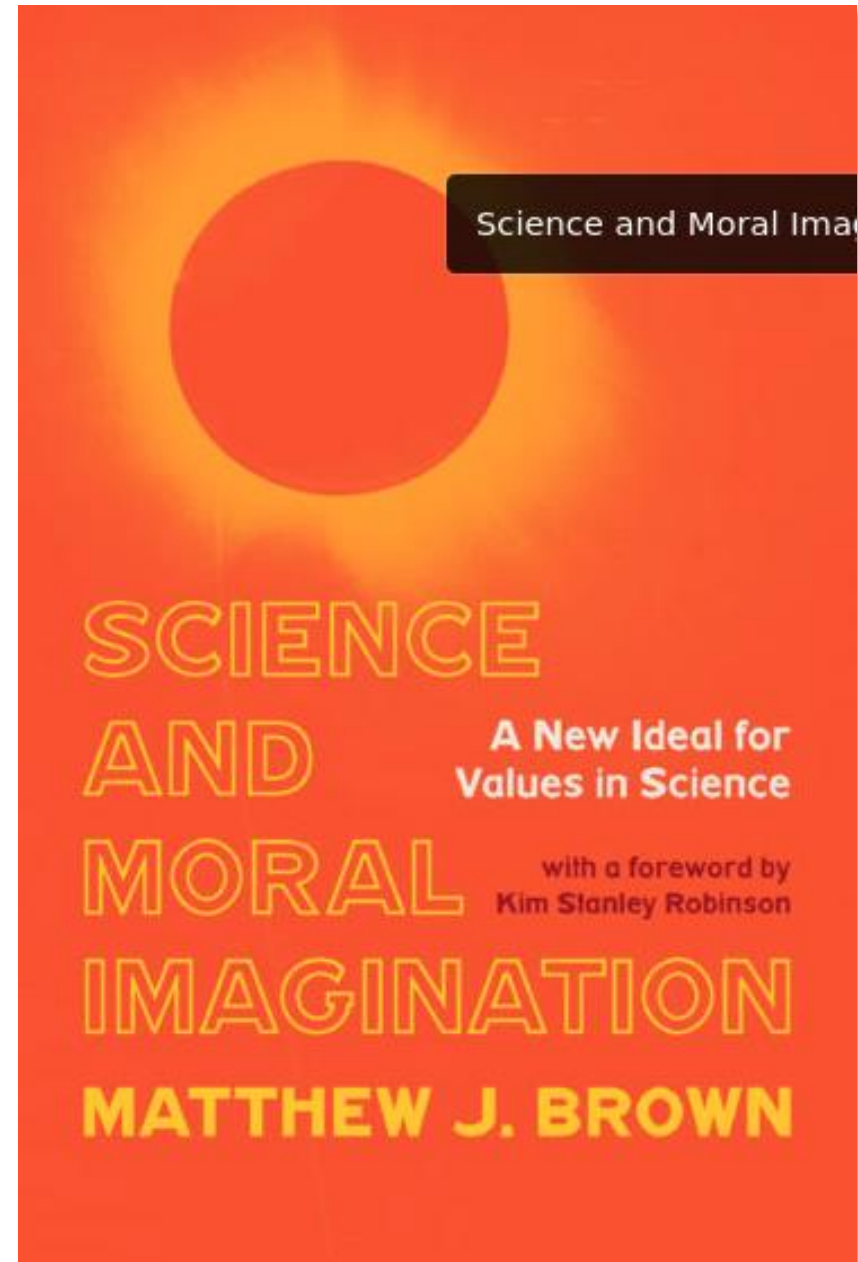
Conferencia de las Partes (COP) e IPCC

Uno de los grandes “clientes” de estos experimentos y de su análisis son el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), quien informa a la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.



¿Por qué tenemos que mejorar los modelos?

“La confianza en los resultados de modelos que no son lo suficientemente buenos lleva a un exceso de optimismo, que a su vez genera una infraestimación de las incertidumbres y los riesgos físicos”



Avances rompedores requeridos

La computación extrema y la gestión de los datos generados requiere:

- Modelos más realistas y una mayor combinación de las simulaciones y las observaciones

Esta inversión necesita, para ser eficaz una mayor integración con el desarrollo del conocimiento de la vulnerabilidad y los impactos.

Gemelos digitales.

FEATURE 10 October 2018

Could the world's mightiest computers be too complicated to use?

China, Japan and the US are racing to build the first exascale computer – but devising programmes clever enough to run on them is a different story



Barreras para el uso de la información climática

Algunas de las limitaciones para el uso eficiente de la información climática en sectores socio-económicos.

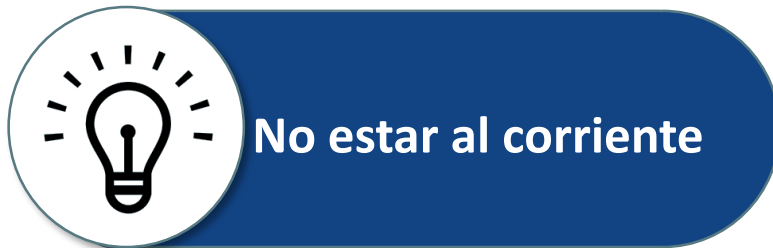


Una solución posible: adaptar los datos climáticos a un mensaje orientado al usuario que se pueda integrar en los procesos de decisión



Servicios climáticos

- **Objetivo:** desarrollar información climática sintetizada y contextualizada para una aplicación concreta.
- **Método de implementación:** co-diseño y co-producción.



No estar al corriente

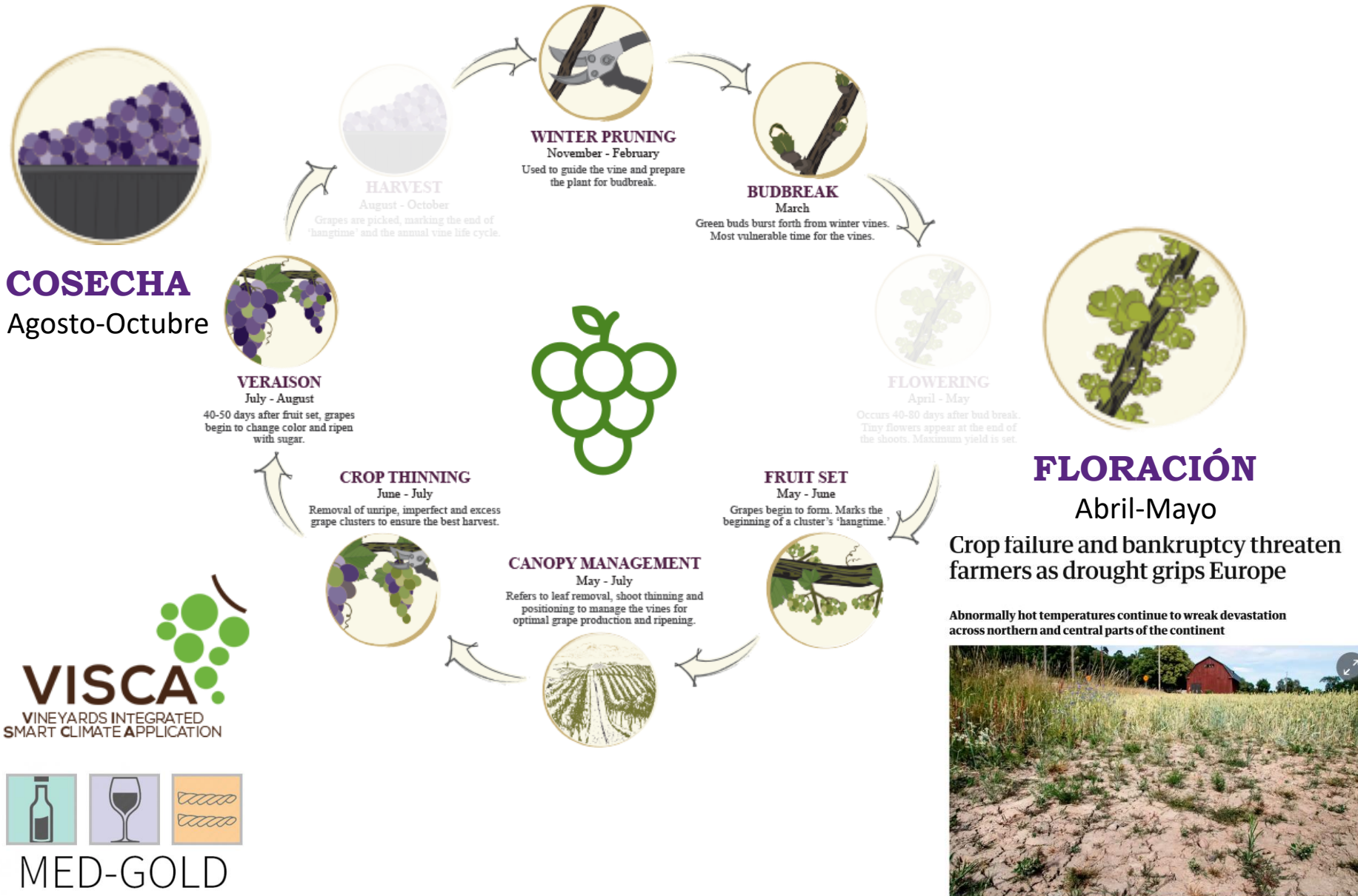


Dificultad de interpretación



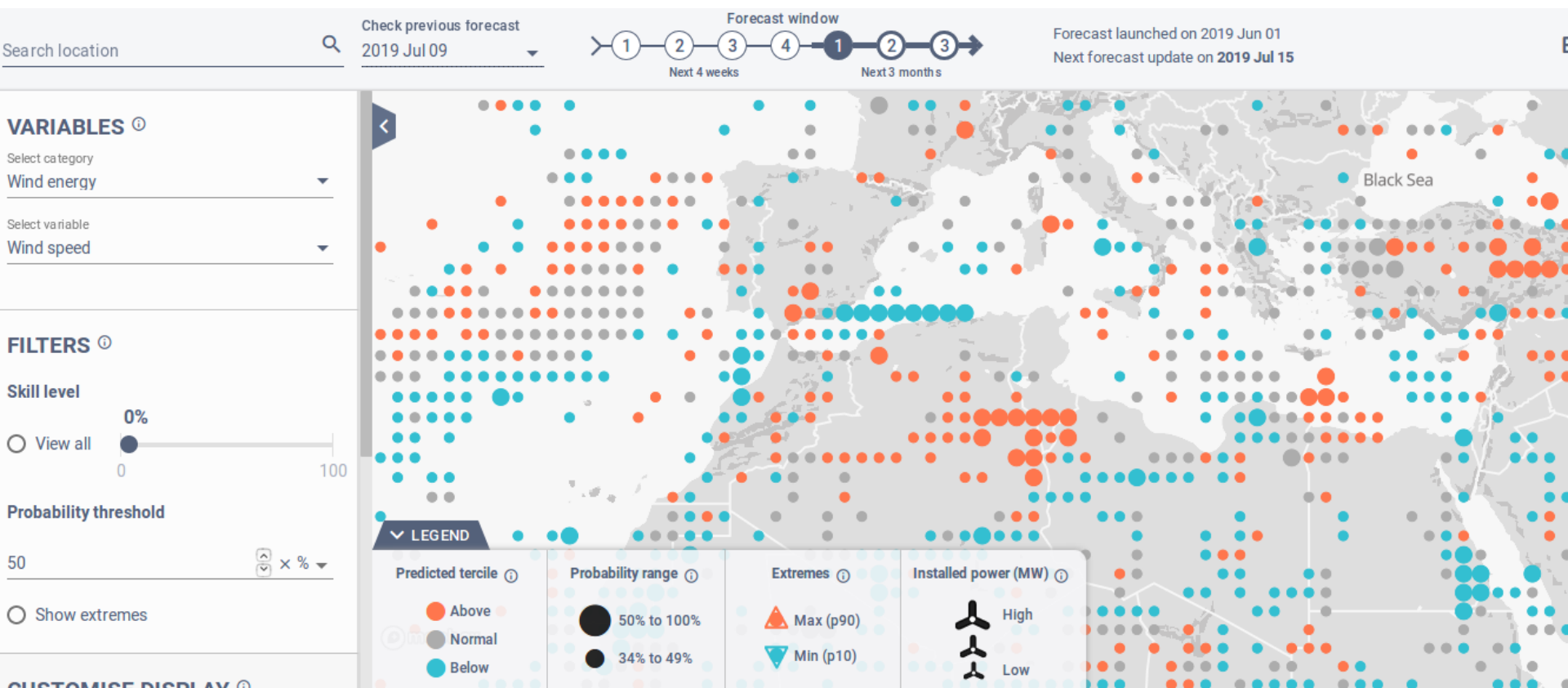
Falta de experiencia en la integración

Información climática para la agricultura



Información climática para la energía

El BSC ha desarrollado un [decision support tool](#) de información global para compañías eléctricas. El sistema se ha co-diseñado con la industria para optimizar su eficiencia y relevancia.



Algunos mensajes

- Las evidencias científicas más recientes indican que el cambio climático está **actualmente afectando** a todas las regiones del planeta, está cambiando los **riesgos** asociados al clima, **no tiene precedentes** desde hace milenios, afecta a todas las componentes del sistema y es **inequívocamente de origen antrópico**.
- El **calentamiento que se alcance a final de siglo depende en gran medida de nuestra actividad en el futuro cercano** (cada tonelada cuenta). El rango probable de calentamiento se extiende de 1,5°C a 5°C y en gran medida es función de los escenarios de actividad socioeconómico.
- La **modelización del clima** juega un papel fundamental en la elaboración de esta información, que para ser útil debe ser integrada en el marco de un **servicio climático**.

Una reflexión

- Tenemos un compromiso a largo plazo. Incluso si dejamos de emitir GEIs ahora (cero neto de CO₂) el cambio climático seguirá afectándonos más allá de 2100. Hay procesos que pueden traer sorpresas en un futuro no lejano como la inestabilidad del hielo de la Península Antártica que puede originar aumentos extremos del nivel del mar.